台灣作物線蟲病害之發生及其綜合防治

程永雄[1] 蔡東纂[2] 莊明富[1] 倪蕙芳[1]

[1]嘉義市 行政院農業委員會農業試驗所嘉義分所
[2]台中市 國立中興大學植物病理學系

摘 要

本省植物病原線蟲經調查計有 31 屬 41 種寄生性線蟲爲害本省經濟作物而其中導致本省作物連作障害的線蟲，首推根瘤線蟲 (*Meloidogyne incognita, M. javanica, M. arenaria, M. hapla*) ，其次爲南方根腐線蟲 (*Pratylenchus coffeae*) 及柑桔線蟲 (*Tylenchulus semipenetrans*) 。此外，地上部植物病原線蟲如葉芽線蟲 (*Aphelenchoides besseyi*) 及松材線蟲 (*Bursaphelenchus xylophilus*) 在本省水稻及二葉松等作物上亦造成重大危害。本省作物線蟲病害之防治宜採用健康種苗，選植抗線蟲之品種或砧木，配合非寄主作物輪作制度、土壤有機質添加、生物防治、太陽能土壤消毒及化學葯劑以消滅或管理降低土壤中病原線蟲之密度，以減少線蟲之危害，並達成永續管理之目地。

前　言

台灣地處於亞熱帶，可耕地大都是壤土或沙壤土，作物種類多，是寄生性線蟲繁殖最佳環境。攸關台灣植物寄生性線蟲種類之記錄，始於 1913 年澤田氏對柑桔線蟲根部之描述[19]，隨之 1924 年列舉本省有 41 科 115 種植物受根瘤線蟲之為害。1970 至 1971 年間，黃氏等[8]全面調查本省雜糧、特用作物、花卉、蔬菜、果樹、樹林及其他等 140 種植物，統計有 27 屬之作物寄生性線蟲存在於農田中，至 1996 年蔡氏等[1,12,15,18]報導有 31 屬 41 種寄生性線蟲為害本省經濟作物，引起作物連作障害的線蟲，首推根瘤線蟲 (*Meloidogyne incognita, M. javanca, M. arenaria, M. hapla*)，其次為南方根腐線蟲 (*Pratylenchus coffeae*) 及柑桔線蟲 (*Tylenchulus semipenetrans*)。

經濟作物受線蟲之為害，首推柑桔多年生果樹，本省 15 縣市柑桔栽培區均已遭受柑桔線蟲 (*T. semipenetrans*) 之為害，引起柑桔慢性衰弱病 (slow decline disease of citrus)，在 1609 個樣品中，有 1198 個樣品之根系及土壤中含帶柑桔線蟲，其發生率為 74.5 %。柑桔線蟲之寄生除了以酸桔、廣東檸檬及枳殼為根砧之柑桔類作物外，還包括巨峰、金香等葡萄、柿子與馬齒莧、馬唐、藜等雜草[16]。花卉及觀賞作物由於本省經濟快速發展，帶動園藝花卉產業之繁榮，新品種花卉及新興園藝作物便成農友田間、溫室的新寵，助長線蟲之傳播、孳長，漸漸成長花卉及觀賞作物線蟲病害連作障害問題。地上部植物病原線蟲主要有葉芽線蟲 (*Aphelenchoides besseyi*) 及松材線蟲 (*Bursaphelenchus xylophilus*)，地下部植物病原線蟲主要有南方根瘤線蟲 (*M. incognita*)、爪哇根瘤線蟲 (*M. javanica*)、螺旋形線蟲 (*Helicotylenculus spp. Rotylenchus spp.*) 矮化線蟲 (*Tylenchorhynchus spp.*)、環紋線蟲 (*Criconemoides spp.*) 及南方根腐線蟲 (*Pratylenchus spp.*) 等[9]，在植物檢疫上應密切防止穿孔線蟲 (*Radopholus similes, R. citropholus*) 及莖線蟲 (*Ditylenchus dipsaci, D. destructor*) 之引進[14]。花卉及觀賞作物線蟲病之感染途徑有三：一、為種苗或球莖、球根、塊根、塊莖、扦插枝（葉）等繁殖體本身攜帶病原線蟲，二、為遭病原線蟲污染之土壤或栽培介質，三、為引用帶有病原線蟲之灌溉水。一般罹病原線蟲之花卉或觀賞作物地上部主要病徵為葉片黃化、微量元素缺乏、小葉、落葉、葉片畸形、花苞腐敗、花苞枯死、直株矮化甚至死亡。若為害根系者，根部出現腫瘤、腐敗、髮根狀、根尖停滯生長或壞疽等情形。

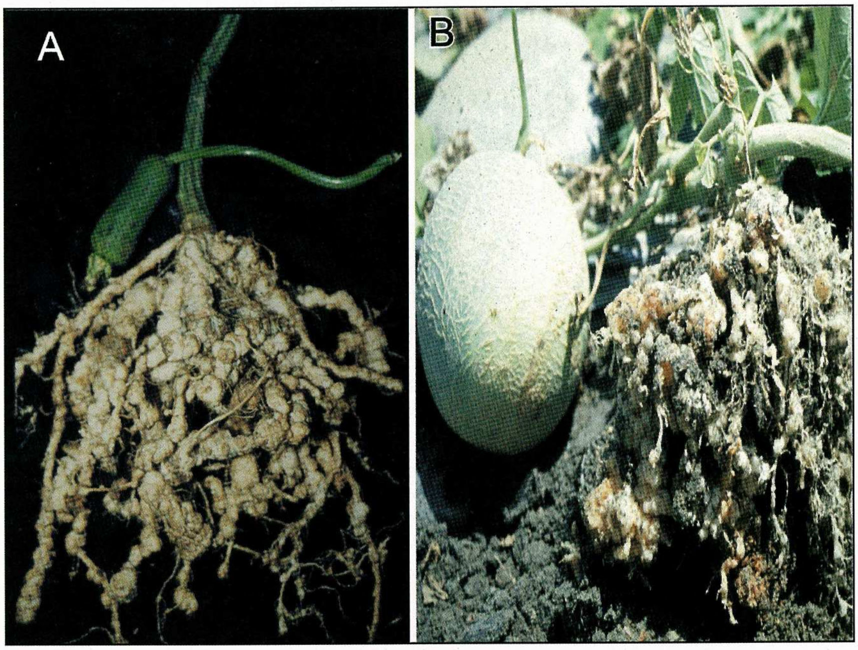
1985 年一項全球性的作物線蟲病問卷調查統計結果指出，瓜類因線蟲病所遭受的損失為 13.8 %[45]。本省瓜類作物栽培主要在河床地運作，旱田輪作及蔗田輪作

是根瘤線蟲最易發生的地方（圖一），其罹病率分別爲 60 %、 55 %及 57 %，病原線蟲主要爲南方根瘤線蟲 (*M. incognita*)，爪哇根瘤線蟲 (*M. javanica*) 次之。旱田西瓜園隻根瘤線蟲族群高峰期在 7 月至 9 月間，而 12 月至 1 月較低；蔗田西瓜園之高峰期自 6 月至 10 月，而低族群密度在 1 月至 3 月，河床地西瓜園之根瘤線蟲族群消長曲線最尖，在 7 、 8 兩個月爲高峰， 11 月後族群顯著地降低。田間調查結果顯示，根瘤線蟲和蔓割病菌之複合感染率，以河床地之 16.5 %爲最高，蔗田之 11.5 %次之，旱田之 11 %最低 [2] 。

糧食作物水稻因線蟲白尖病之發生，影響稻作收成之品質甚鉅， Popova 氏 [39] 估計蘇聯感受性稻米品質罹白尖病之減損率爲 54 %，稻種感染率達 80 %，田間減損率爲 31 %。台灣有關此病害之最早調查報告係由洪氏 [4] 於 1959 年指出屏東、高雄、新竹及台北等地稻作發病嚴重（圖二），以嘉農 242 號、台北 13 號、高雄 10 號及高雄 64 號等稻米品種最易感染，其罹病率爲 28 %至 36 %，而減損率高達 30 至 47 %。繼之，陳氏 [5] 報導草屯、潭子兩地稻作研究稻白尖病之發生及病原線蟲形態、生態、生理性質、種子處理等事項；報告中詳列罹病減損率分別爲穗長 19.1 %、支梗數 5.2 %、粒樹 35.8 %、穗重 56.4 與千粒重 63.9 %等。蔡氏等 [17] 1998 年之調查報告，本省栽培最廣的品種台農 67 號是白尖病病原線蟲 *Aphelencliodes besseyi* 感受性品種，水稻發生白尖病可降低水稻株高、單穗重及穀粒數，罹病率於 57 、 34 及 18 %之程度時，減損率分別爲 44.9 、 34.7 及 24.2 %，因此水稻線蟲白尖病漸漸引起產米國家之重視。

根莖薯類作物線蟲病害之發生情形，據蔡氏等 [10] 報導主要病原線蟲爲南方根瘤線蟲 (*Meloidogyne incognita*)（圖三）、爪哇根瘤線蟲 (*M. javanica*) 根腐線蟲 (*Pratylenchus coffeae*) 、腎形線蟲 (*Rotylenchulus reniformis*) 、穿根線蟲 (*Hirschmanniella spp.*) 及葉芽線蟲 (*Aphelenchoides besseyi*)，而以前二者最重要。蘿蔔、胡蘿蔔、牛蒡、綠竹、麻竹、蘆筍及山葵只有根部感染根瘤線蟲，塊根、塊莖或筍部位並未被其寄生。豆薯、黑皮波羅門參、甘藷、山藥、樹薯、馬鈴薯、芋及薑等作物則連塊根、塊莖及薯塊上都受侵害 [20] 。除竹類外，遭線蟲危害植株地上部出現黃化、矮化、缺水及缺微量元素病徵，地下部則有結瘤、根腐及除藏器官表皮突起、凹洞及腐爛等徵狀。與水稻輪作方式有助於降低砂質壤土及黏質壤土馬鈴薯田中根瘤線蟲族群密度；反之，於山坡旱田輪作薑或山藥，根瘤線蟲於作物植後 8 個月每百公克土壤高達 1200 隻以上。

近年來台灣松樹松材線蟲萎凋病之發生與蔓延（圖四），更引起國人之重視 [7] 。由松材線蟲 (*Bursaphelenchus xylophilus*) 所引起的松樹松材線蟲萎凋病，是爲害松屬 (*Pinus spp.*) 樹種相當嚴重的一種病害。台灣地區自 1985 年首度證實松材線



圖一、瓜類作物感染根瘤線蟲造成根系結瘤之病徵 (A) 絲瓜 (B) 洋香瓜
Fig. 1. Disease symptoms of (A) luffa and (B) melons infected by root-knot nematodes.

圖二、葉芽線蟲引起之水稻白尖病病徵
Fig. 2. Disease symptom of rice white tip caused by *Aphlenchoides besseyi*.

圖三、根瘤線蟲感染根莖類作物所造之病徵 (a) 胡蘿蔔根瘤 (b) 薑根瘤 (c) 薑橫切面可見根瘤線蟲之母蟲

Fig. 3. Disease symptom caused by root-knot nematode (*Meloidogyne* spp.) on (A) carrot (B) ginger (C) adult female of *Meloidogyne* sp. in the diseased ginger.

圖四、松材線蟲引起之松樹萎凋病 (A) 病徵 (B) 傳播線蟲之松斑天牛蛀食孔 (C) 松斑天牛之幼蟲

Fig. 4. Pine wilt disease caused by *Burasphelenchus xylophilus* (A) disease symptom (B) feeding pore of *Monochamus altermatus* (C) larve of *Monochamus alternatus*.

蟲之發生，至今受害的林地約超過 10000 公頃，材積損失達 220000m3 。受害的樹種主要爲琉球松 (*P. luchuensis*) 、黑松 (*P. thunbergii*) 和台灣二葉松 (*P. taiwanensis*) 。由於罹病松樹大量死亡，松材線蟲又可藉病死木羽化的松斑天牛 (*Momochamus alternatus*) 爲媒介，故傳播迅速，經過十餘年間，本病已在台灣西部往南擴散到嘉義、台南二縣，東部則至台東太麻里，中橫和南橫公路沿線皆傳出病害的報導，甚至金門和馬祖外島也難逃本病的侵襲。

就本省作物線蟲病害發生之衍因，除氣候高溫多濕，土壤環境及作物種類多外，還有不健康種苗攜帶引進病原線蟲，在適宜土壤條件下，有高感度寄主植物而加速其繁殖與蔓延。因此在擬定線蟲防治之策略，不可忽視斷絕外因（採用健康種苗），選植抗線蟲之品種或砧木，配合消滅或管理降低土壤中病原線蟲之密度，以達到減少線蟲之爲害，茲分述於後：

1. 栽種健康種苗：

本省農友一般於耕地自行育苗，而往往忽略穴盤底部苗株根系感染來自耕地之病蟲線蟲。在設施栽培之花卉及蔬果，不難發現產銷班員聯合購苗，集中馴化，而多數苗株接觸地面之根系已嚴重感染線蟲之情形。解決之道是以塑膠布舖地，隔絕線蟲感染，或採高架育苗方法。球根作物或以側芽繁殖之作物，如球根花卉、山葵、薑、馬鈴薯及山藥等，植前病原線蟲檢疫是降低病害風險之重要事項。球根植前浸泡殺蟲劑之處理以罹南方根瘤線蟲之大岩桐種球爲例，浸泡歐殺滅、滅線蟲及芬滅松一小時後，可降低線蟲感染率 73.6 ％、 61.1 ％及 68.6 ％ [11] ，仍未臻完善。

2. 栽植較抗線蟲作物品種或砧木：

栽植抗線蟲作物品種是降低線蟲密度，減少施藥成本及避免殺蟲劑殘毒之虞的最佳方法 [24] 。問題是，抗性品種之產物常不合市場需求；或者其抗性對象侷限於屬內少數種線蟲，而無法在田間應用 [46] 。多年生果樹之線蟲病害以嫁接抗性砧木之新株全面更新或補植可克服。如本省罹柑桔線蟲 (*Tylenchulus semipenetrans*) 及根腐線蟲 (*Pratylenchus coffeae*) 引起衰弱之柑桔園，可用枳殼 (*Poncirus trifoliata*) 及其雜交種取代感病性高且普遍被使用之酸桔及廣東檸檬爲砧木者更能避免線蟲爲害 [6] 。

3. 輪作制度之安排：

輪作制度之安排一直是農業上防治線蟲病害的一種經營模式 [37] 。其作用在抑

制線蟲族群密度至不爲害程度或防止該族群之增加。於針對特定線蟲種類之輪作系統中，感受性作物 (susceptible crop) 需和弱寄主作物 (poor host crop)、非寄主或抗性作物交互種植，使該線蟲於一段時期中無法寄生繁殖，甚至飢餓死亡。如與花生、棉花及大豆輪作，以降低 *Pratylenchus brachyurus* 和 *P. zeae* 族群密度與其對玉米之爲害 [29]。引用一些熱帶作物如弗州黎豆 (velvet bean)、蓖麻 (castor)、美國節苕 (American jointvetch) 及芝麻 (seasame) 用來輪作以防治根瘤線蟲病害，在美國東南部農地得到良好成果 [44]；Mc Sorley 等氏 [35] 更加以應用在北佛羅里達州之蔬菜生產上，有效控制根瘤線蟲 (*M. incognita* race 1, *M. arenaria* race 1) 族群密度在最低水平，使茄子等作物產量增加。本省以前許多作物習慣與水稻輪作，對降低普遍分佈於台灣農地之根瘤線蟲有絕對性的效果。這也提供一個本省旱地、山坡地及特作專業區在水稻轉作或連作幾年後根瘤線蟲病害漸趨嚴重之相對佐證。

4. 土壤有機質添加：

土壤有機添加物 (soil organic amendments)，在分解期間有顯著降低土壤中根瘤線蟲密度之效果 [34]。然而有機添加物種類甚多，未知孰種具有較佳機制，於是開啓了線蟲學家展開 50 年以上研究的序幕。

農作物的殘體及加工後廢料，如稻稈、玉米稈、糠、麩、鋸木屑、甘蔗渣、豆粕、種子粕等常爲土壤添加物外，動物的排泄物及殘骸，如魚精、骨粉、蝦蟹殼及雞、牛、羊、豬之排泄物等亦是。此外，糖蜜、黃豆粉，海草粉，菇床廢料、廢棉等。土壤有機添加物之施用可提昇土壤中氮、磷、鉀三要素含量、土壤中金屬離子交換、土壤顆粒的選擇、土壤透氣性及保水、排水力改良。由於栽作土壤環境較理想，較健康植株相對的比弱勢植株對線蟲的危害更有耐病性 (tolerance)。

Sayre 氏 [48] 認爲施用有機添加物後之所以能防治植物寄生性線蟲，其機制爲⑴有機添加物之分解物對線蟲有直接毒性；⑵可增加線蟲天敵的的種類和數量；⑶改變植物和線蟲的關係；⑷有機添加物在分解的過程中產生有燻殺作用的氣體；⑸有機添加物在分解時產生熱度，傷害線蟲。有機添加物中有些具有線蟲毒化物，並於土壤中釋放出殺線蟲物質 (nematicidal principle)，可直接降低線蟲密度。Neem 種子所含 limonoids 已被定爲天然殺線蟲劑 azadirachtin。經測試 limonoids 可致根瘤線蟲 (*Meloidogyne incognita*) 二齡幼蟲死亡，並抑制其卵之孵化 [25]。且已明瞭其殺線蟲物質存在於脫脂部份。孔雀草 (marigold) 含有毒質 poly-thienyls，可以殺死線蟲 [52,53]。本省農友常用作爲有機添加物的蓖麻粕 (castor pomace) 中亦含有蓖麻毒素 (ricin)，可降低南方根瘤線蟲行動能力 [42]。

此外，有機添加物於土壤中的分解物對線蟲有害氣體，如 ammonia ，nitrites ，hydrogen sulphide ，多種揮發物質及有機酸，能直接殺死線蟲或間接的妨礙線蟲卵孵化及降低線蟲二齡幼蟲之移動性 [36] 。土壤添加物中含有高量酚化物，加入土中則會改變根對根瘤線蟲的吸引力 [49] 。例如，將番茄苗植於加有 neem 油粕的土壤中，再移植於根瘤線蟲的土壤中，則線蟲的侵害率相對的較為處理者低。

以色列 Spiegel[50] 等氏，更成功的以蝦蟹殼作爲有機添加質材防治番茄根瘤線蟲 (*Meloidogyne incognita*) 、小麥包囊線蟲 (*Heterodera avenae*) 及柑桔線蟲 (*Tylenchlus semipenetrans*) ；其機制乃幾丁植分解性放線菌 (Chitinolytic Actiomycetes) 數目大增，降低線蟲卵之孵化，從而減輕線蟲之危害。爾來， Westerdahl 等 [45] 以幾丁質加入尿素作爲土壤有幾添加材料，有效防治胡桃根腐線蟲 (*Pratylenchus vulnus*) 及馬鈴薯根瘤線蟲 (*M. chitwoodi*) 等。蔡氏等 [9] 應用幾丁質添加物可降低土壤南方根瘤線蟲密度，對晚香玉根瘤線蟲病害有防治效果。

5. 生物防治：

許多生物學者對特定病蟲害天敵之生態及繁殖研究不遺餘力，但是在田間應用時常忽略了提供天敵良好生環境，效果大打折扣。有機添加物之混合物即在供給天敵微生物養料，作爲生物防治之基礎條件。

線蟲天敵於自然界之中廣泛存，如 Virvs 、 Bacteria 、 Rickettsea 、 Furbellarians 、 Nematodes 、 Eechytraeids 、 Mites 、 Collembola 、 Insects 等。在全世界五百多篇線蟲生物防治報告之中，以眞菌爲材料者佔 76% 、其次爲獵食性線蟲佔 7% ，細菌和放射線菌佔 5 %左右，餘者 3 %以下；拮抗微生物對線蟲取食或寄生的對象不外卵、幼蟲、雌雄成蟲及胞囊 [33] 。其在線蟲生物防治上之應用型態，又分爲人海戰術 (inundation) 、引進 (introduction) 及天然 (nature) 防治三者。「人海戰術」、及「引進」兩種方式皆大量生物材料，並得時常塡加，且顧及所使用生物材料之生存能力，因此以使用溫室或移植作物時，作爲保護性質爲目的者居多。「天然」防治所施用材料配合適當添加物之使用，當可有利於多年生及連作性作物線蟲病害之克服。

以放射線菌作爲線蟲生物防治材料的研究，以絕對寄生菌 *Pasteuria penetrans* (Thorne) Sayre&Starr 爲多。此菌可藉孢子感染根瘤線蟲之二齡幼蟲皮而後產生發芽管侵入線蟲體，內致其死亡，達到低線蟲密度之目的 [51] 。作物線蟲病生物防治劑較成功而被商品化如卵寄生菌 *Paceilomyecs lolacinus*, 以椰子碎片作爲商品配方基質曾在 60 多個國家試驗過，然效果好壞不一 [28] 。以 *Arthrobotrys irregularis* 製成的 R350 線蟲防治劑，對根瘤線蟲有田間防治效果 [27] 。 Royal 300 則使

用於洋菇栽培上防治洋菇線蟲 *Ditylenchus myceliophagus* (44) 。

6. 太陽能土壤消毒：

自 1930 年於夏威夷以透明塑膠布覆蓋方式利用太陽能 (Solarization) 防治鳳梨線蟲 *Heterodera radicola* (Greef) Muller 以來 (26), 已廣泛應於土壤加熱消用途。幾乎所有植物寄生性線蟲可於 44 至 48 °C 溫度下被殺 (22,23) ，而即使在美國佛羅里達西北部 (30.0n.,84.4w) ，1992 年之六至七月間，透明塑膠布覆蓋下 5 ，15 及 25 公分深之土壤，亦分別達到 49.5 、 46 及 40.5 °C之溫度；對番茄青枯病 (Bacterial wilt) 及 *Meloidogyne spp.* 、 *Paratrichodorus minor* 、 *Helicotylenchus spp.* 、 *Rotylenchulus reniformis* 及 *Criconemella spp.* 等線蟲具有良好防治效果 (22) 。於 1993 年七至九月之田間試驗於同樣土壤深度下，分別測得最高地溫爲 60.5 、 53 及 43.5 °C。多年來，全世界有關此太陽能消毒土壤之試驗結果指出成功的鍵主要是充裕之日照及高溫地域條件 (30) ；地處亞熱帶之台灣自當多加利用。筆者等研究結果顯示以尿素作土壤植前處在盆缽試效果其佳，可降低根瘤指數 32.5 及 50 %；如以透明塑膠布覆蓋，在 1.0 %及 0.1% 施用下，分別於第三及六星期時 , 即無法檢出根瘤線蟲 ; 即使在不覆蓋情形下 , 其殺線蟲效果亦比僅覆蓋塑膠布之太陽能處理方式爲高。田間試驗結果亦證明施用尿素並覆蓋塑膠布一星期，土壤中根瘤線蟲密度即明顯下降，於第五星期時已接近於零，和殺線蟲劑 phenamiphos 之處理效果相去不遠 (11) 。覆蓋透明塑膠布之所以有提高土壤溫度之作用，源自於溫室效應 (greenhouse effect)(31) ；於土壤中拌加尿素，使產之氨氣有更長時間充留於土壤空隙中，加強除滅線蟲作用。杜氏等 (3) 以覆蓋透明塑膠布方式防治番茄白絹病，發現若於土壤中添加苜蓿、太陽麻或王米莖等有機綠肥者，較未添者爲愈；其作用丁能和植物莖葉在土中分解時產生氨氣及 butyric acid 對眞菌、細菌或線蟲之致毒性攸關 (38) 。以太陽能配合尿素施用一個月即可大幅低土壤中植物病原線蟲密度；較其他土壤蒸劑使用費用低，其至可取燻蒸性農藥克服植物病原線蟲連作障害。

7. 化學葯劑防治

施用化學葯劑防治作物線虫病害 , 旨在殺死 (kill) 土壤中病原線蟲於短期間內達到降低病原線蟲族群密度至顯著程度，但難免也殺滅其他有益微生物，破壞土壤中之平衡。目前，本省除了禁止使用的 ethylene dibromide (EDB) 、 1,2-dibromo-3-chloropropane (DBCP) 及 aldicarb 之外，尚有 7 種燻蒸劑和 1 種有機物質作爲農用線蟲病害防治資材。劑型則有粒劑、乳劑、粉劑、懸浮劑、可濕性粉劑以及液劑等。燻蒸劑中之 D-D 、 1,3-D 、 EDB 及 DBPC 爲純殺線蟲劑 (true nematicide) ；

methyl bromide(MBR) 、 chloropicrin(CPI) 及 methyl isothiocyanate(MIT) 爲廣用燻蒸劑 (multipurpose fumigant). 非燻蒸劑主要分有機磷劑 (organophosphate) 、氨基甲酸鹽 (carbamate) 、醚類 (ehyl) 及有機質 (organic material) 等。作用功能爲觸殺性 (contact action) 的僅有普伏松 (ethoprop) 及滅線蟲 (nemamort) 兩種，適合短期作和全年採收性作物使用；其餘化學藥劑爲系統性 (systemic action) 。而以有機質登記之蝦蟹殼粉 (chitin-protein) ，爲美國 IGIN 公司出品之 Clandosan 618 ，具生物防治功能。由於燻蒸劑花費高 (dazomet 及 MBR 每甲地八萬元新台幣藥劑費) ，且需支付塑膠布及覆蓋費用，使用率較低。本省農友較偏愛植後施用系統性殺線蟲劑；一者施用方便，二者兼具殺蟲、殺菌作用，唯如施藥時機不當則有殘毒之虞。其實，農林廳植物保護手册推薦之殺線蟲劑施用方式，一年生作物如西瓜蕃茄、薑、菸草、鳳梨等植前穴施或條施；多年生果樹如柑桔及葡萄則於萌芽期環施或條施處理；爲兼顧實際安全考量之作法。

結論與討論

根據筆者十餘來調查本省蔬菜 [13] 、花卉 [9] 、果樹、根莖薯類特用作物 [10] 重要線蟲病害及其農地雜草主要寄生性線蟲種類繁多，尤其是根瘤和根腐線蟲兩種最爲重要。在蔬菜專業區內全年接性的栽培之瓜類、豆類、茄科和十字花科等作物，對寄主達二千多種根瘤線蟲而言，不啻常年提供其繁衍之環境。鄉鎮地域性特色作物，如草莓、花卉、薑、大蒜等；其病原線蟲更因種苗流通及灌漑水攜帶加速傳播，造成連作障害。本省多年生果樹線蟲病連作障害在衰弱植株補植或整地重植時表現最明顯。

花卉線虫問題其防治工作首在預防，即種苗或其他植物繁殖體植前健康篩選；並嚴格做好土壤消毒，尤其是連作區域或設施園藝土壤及栽培介質。植前或植後施用殺線蟲劑或生物防治添加物亦有助於克服線虫病害問題，提高作物品質。球根花卉線虫在本省栽培之 15 科 26 種球花卉之發生主要病原線蟲爲南方根瘤線蟲 (*Meloidogyne incognita*) (圖五) 及南方根腐線蟲 (*Pratylenchus coffeae*) 。葉芽線蟲 (*Aphelenchoides besseyi*) 危害小蒼蘭引起之心葉萎縮和畸形病變則爲首報。土壤植前混拌處理對晚香玉南方根瘤線蟲及南方根腐線蟲之效果，依序爲施用芬滅松、幾丁質添加物、尿素及鳥肥者。田間每公頃施用 500 公斤尿素，並覆蓋相同塑膠布一個月後土壤中根瘤線蟲密度幾近於零，效果和施用芬滅松者相近，可供防治上之參考。罹南方根瘤線蟲之大岩桐種球於浸泡歐殺滅、滅線蟲及芬滅松一小時後，可降低線虫感染率 73.6 、 61.1 及 68.6 %，但未達檢疫防疫處理標準 [9] 。

圖五、花卉作物感染根瘤線蟲造成根系膨大之病徵 (A) 晚香玉 (B) 天堂鳥 (C) 火鶴花

Fig. 5. Disease symptom of flowers infected by root-knot nematodes. (A) *Polianthes tuberosa* (B) *Strelitzia reginae* (C) *Anthurium sp.*

松樹松材線蟲萎凋病的防治策略主要是在感染源罹病植株的剷除、防止病害傳播和增強松樹的抗病性。感染源的剷除措施是將病死木伐倒，並以化學或物理方法將松材線蟲或松斑天牛予以殺死，其方法包括：藥劑散佈、燻蒸、燒卻、破碎和剝皮等措施；防止病害傳播的方法則有空中藥劑散佈、地上藥劑散佈、樹幹注射、土壤處理、生物防治、忌避物質和誘殺松斑天牛等措施；至於增強松樹的抗病性，宜以抗病選種優先。此外，立法限制被害木的搬遷，加強檢疫制度，增加林木的保育管理、開發松木的利用價值和推廣解教育，都有助於松樹松材線蟲萎凋病的防治工作。

綜觀作物病原線蟲之防治，應兼顧經濟及環保利益並達到降低病原線虫族群密度至危害程度之下的病蟲害防治，即所謂之病蟲害綜合管理 (Integrated Best Managment ； IPM) [21] 。IPM 在作物線蟲病害上作爲，尤其是針對連作障害之對策有㈠排拒 (exclusion or avoidance) ，㈡消滅 (eradication or containment) ，㈢族群密度控制 (population density manipulation) 及㈣放任 (no action) 等四方向。其方式即將有試驗資料可循之化學、物理、生物、栽培及種質部署 (germ-plasm develoyment) 等防治策略依個案之全方位考量適用。 Sasser 等 [47] 以非寄

主輪作、栽植抗線蟲品系配合蟲施用，成功的將大豆包囊線蟲族群密度降至危害度之下。在特定區域下生物防治成果，雖能在人爲控制下降低線蟲族群密度 50 至 80 % [32]，但如能配合其他方法，可望使其效果延長及提高。休閒、拮抗覆蓋作物、非寄主作物輪作及殺線蟲劑等防治方法綜合使用證實對控制線蟲病害及提昇產量頗有助益 [41]。對多年生作物線蟲病之連作障害克服，以 IPM 之防治方式，須對主要病原線蟲之族群季節消長，植物生育環及根系生長情形預作統計模式，再決定防治方法及時機 [43]。例如針對柑桔穿孔線蟲 (*Radopholus citrophilus*) 感染園之處理：爲將植株挖除，土壤以ＤＤ、ＥＤＢ或 1,3-D 消毒，全園休閒 6 個月，重植苗株則嫁接抗線蟲砧木 [40]，可達除滅效果。

Kahn [30] 統計全世界 125 個國家 10 種最具經濟重要性植物病原線蟲：黃金線蟲 (*Globodera rostochiensis*) 、莖線蟲 (*Ditylenchus dipsaci*) 、甜菜包囊線蟲 (*Heterodera sachachtii*) 、稻莖線蟲 (*Ditylenchus angustus*) 、草莓葉芽線蟲 (*Aphelenchoides fragariae*) 、馬鈴薯腐敗線蟲 (*Ditylenchus destructor*) 、穿孔線蟲 (*Radopholus similis*) 、爪哇根瘤線蟲 (*Meloidogyne javanica*) 、菊花葉芽線蟲 (*Aphelenchoides ritzemabosi*) 及葉芽線蟲 (*Aphelenchoides besseyi*) ，其中寄生於根部的，多爲連作障害之關鍵病原線蟲；所幸尚少存在於本省，端賴檢疫單位之努力杜絕其引進，以減少農作之損失。

引用文獻

1. 王國強、楊瓊儒、蔡安娜。 1977 。台灣 *Melodiogyne hapla* 根瘤線蟲之初次發現．植保會刊 19(4) ： 311 。
2. 杜金池、程永雄、王貴美、蔡東纂。 1990 。台灣地區西瓜根瘤線蟲之發生及防治。中華農業研究 39(4) ： 325-338 。
3. 杜金池、程永雄、黃山氏 1991 。應用太陽能及有機綠肥對蕃茄白絹病之防治效果。植保會刊 33 ： 95-102 。
4. 洪元平。 1959 。台灣稻米白尖病。植保會刊 1(4) ： 104-109 。
5. 陳脈紀。 1961 。水稻線蟲心枯病之研究。中興大學農林學報 9,10 ： 103-116 。
6. 張喜寧。 1980 。抗根腐線蟲及柑桔線蟲柑桔根砧之選拔與測試。中國園藝 26 ： 71-77 。
7. 張瑞璋。 2000 。台灣松樹松材線蟲萎凋病的發生、流行及防治。植物疫情與策略 87-99 。
8. 黃炤雄、蔡雲鵬、林奕耀、杜金池、黃修斌。 1972 。台灣植物寄生性線蟲。中

研院植研所專刊第一號。

9. 蔡東纂、程永雄。 1994 。台灣花卉線蟲問題。台灣花卉病蟲害研討會專刊 pp.225-241 。

10. 蔡東纂、程永雄、林奕耀、陳昭豐。 1994 。台灣根莖薯類作物線蟲病害之發生。植病會刊 36 ： 225-238 。

11. 蔡東纂、程永雄、陳弘毅、林奕耀、吳文希。 1995 。球根花卉線蟲病害之發生及防治。植病會刊 4 ： 180-192 。

12. 蔡東纂、林奕耀。 1985 。台灣葡萄根瘤線蟲之發生及其傳播。中國園藝 31(2) ： 94-104 。

13. 蔡東纂。 1989 。線蟲與作物根系保全。植物線蟲病害防治研討會專集 pp.71-92 。

14. 蔡東纂。 1995 。植物病原線蟲檢疫。植病會刊 4 ： 43-59 。

15. 蔡東纂。 1996 。台灣作物線蟲連坐障害之發生及對策。植病會刊 5(3) ： 113-128 。

16. 蔡東纂、吳文希、林奕耀、程永雄。 1997 。台灣柑桔線蟲之發生及其生物型種內變異。植病會刊 6 ： 111-122 。

17. 蔡東纂、程永雄、鄧堯銓、李明達、吳文希、林奕耀。 1998 。台灣水稻病原線蟲-*Aphenlenchoides besseyi* 之生態及防治策略。植保會刊 40 ： 277-286 。

18. 程永雄、杜金池。 1980 。台灣落花生根腐線蟲 *Meloidogyne arenaria* 之鑑定。中華農業研究 47-53 。

19. 澤田兼吉。 1913 。柑桔立枯病（預報）。台灣農事報 7(10) ： 903-914 。

20. Adesiyan, S. O., Odihirin, R. A., and Adenjii, M. O. 1975b. Economic loss-escaused by the yam nematode, *Scutellonema bradys*, In: Nigeria. Pl. Dis. Rept. 59 ： 477-480.

21. Bird, G. W. 1981. Integrated nematode management for plant protection. pp. 355-375. In: B. M. Zuckman and R. A. Rohde, eds. Plant parasitic nematodes. vol. 3. New York, Academic Press.

22. Chellemi, D. O., Olson, S. M., Scott, J. W., Mitchell, D. J., and McSorley, R. 1993. Reduction of phytoparasitic nematodes on tomato by soil solarization and genotype. Suppl. J. Nematol. 25:800-805 。

23. Christie, J. R. 1959. Plant Nematodes, their Bionomics and Control. Jacksonville, FL. The H & WB Drew Co. 362pp.

24. Cook, R., and Evans, K. 1987. Resistance and tolerance. In: Principle and

Practice of Nematode Control in Crops, eds. R. H. Brown, B. R. Kerry, pp.179-231. Sydney. Academic, 477pp.

25. Devakumar, C., Goswami, D. K., and Mukerjee, S. K. 1985. Nematicidal principlesfrom neem (*Azadirachta indica* A. Juss). Part I. Screening of neem kernel fractions against *Meloidogyne incognita*. Indian J. of Nematology 15: 121-124.

26. Hagan, H. R. 1993. Hawaii pineapple field soil temperatures in relation to the nematode *Heterodera radicola* (Greef) Muller. Soil Sci. 36:83-95.

27. Jatala, P. 1985. Biological control of nematodes. In: An Advanced Treatise on Meloidogyne Vol. I: Bioligy and Control(J. N. Sasser and C. C. Carter, eds) , pp.303-308. Dept. plant pathology, North Carolina state Univ. Raleigh.

28. Jatala, P. 1986. Biological control of plant parasitic nematodes. Ann. Rev. Phytopathol. 24:453-489.

29. Johnson, A. W.., Dowler, C. C., and Hauser, E. W. 1975. Crop rotation andherbicide effects on population densities of plant parasitic nematodes. J. Nematol. 7:158-168.

30. Kahn, R. P. 1982. The host was a vector: exclusion as a control. In: Pathogens, Vectors, and Plant Diseases: Approaches to Control C. K. F. Hairis and K. Maramorosch, eds.) , pp. 123-149. Academic Press, London.

31. Katan, J. 1981. Solar heating (solarization) of soil for control of soilborne pests. Ann. Rev. Phytopathol. 19:211-236

32. Kerry, B. R. 1990. An assessment of progress toward microbial control of plant-parasitic nematodes. Supl. J. Nematol. 22:621-631.

33. Kerry, B. R. 1987. Biological control. In: Principles and Practice of Nematode Control in Crops. Brown, R. H. and Kerry, B. R. eds., pp.233-263. Academic Press. London.

34. Linford, M. B. 1937. Stimulated activity of natural enemies of nematodes. Science 85:123-124.

35. Mc Sorley, R., and Dickson, D. W., J. A. de Brito, and Hochmuth, R. C. 1994. Tropical Rotation Crops Influence Nematode Densities and Vegetable Yields. J. Nematol. 26:308-314.

36. Main, I. H., and Rodriguez-Kabana, R. 1982b. Survey of the nematicidal properties of some organic materials available in Alabama as amendments to

soil for control of *Meloidogne arenaria*. Nematropica 12:235-246.

37. Nusbaum, C. J., and Ferris, H. 1973. The role of cropping systems in nematode population management. Ann. Rew. Phytopathol. 11:423-440.

38. Patrick, Z. A., Syre, R. M., and Thorpe, H. J. 1965. Nematocidal substances selective for plant parasitic nematodes in extracts of decomposing rye. Phytopathology 55:702-704.

39. Popova, M. B. 1984. Principal factors determining the intensity and pathogenicity of *Aphelenchoides besseyi* infestation rice. Byulleten' Vsesoyuznogo Instituta Gel'mintologii im. K. I. Skryabina, No.36:39-41.

40. Poucher, C., Ford, W. F., and Ducharme, E. P. 1967. Burrowing nematode in citrus. Florida Dept. of Agr. Dir. Plant Industry Bull. No.7. 63pp.

41. Rhodes, H. L. 1984. Effects of fallowing, summer cover crops, and fanamiphos on nematode populations and yield in a cabbage-field corn rotation in Florida. Nematropica 14:131-138.

42. Rich, J. R., Rahi, G. S., Opperman, C. H., and Davis, E. L. 1989. Influence of the castor bean (*Ricinus communis*) letin (Ricin)on motility of *Meloidogyne incognita*. Nematropica 19:99-103.

43. Roberts, P. A. 1993.The Future of Nematology: Integration of New and Improved Management Strategies. J. Nematol. 25:383-394.

44. Rocriguez-Kabana. R., Robertson, D. G., Wells, L., King, P. S., and Weaver, C. F. 1989. Crops uncommon to Alabama for the management of *Meloidogyne arenaria* in peanut. Supl. J. Nematol. 21:712-716.

45. Sasser, J. N., and Freckman, D. W. 1987. A world perspective on Nematology: The role of the society. pp.7-14. In: Vistas on Nematology. Veech, J.A. and D. W. Dickson, eds. Society of Nematologists INC., Hyattsville, Maryland, U.S.A.

46. Sasser, J. N., and Kirby, M. F. 1979 Crop cultivars resistant to root-knot nematodes Meliodogyne species. A cooperative publication of the Department of Plant Pathology, North Carolina State University and the United States Agency for International Development. Raleigh, North Carolina, 24pp.

47. Sasser, J. N., and Uzzill, G. 1991. Control of the soybean cyst nematode by crop rotation in combination with nematicide. J. Nematol. 23:344-347.

48. Sayre, R. M. 1971. Biologic influence in soil environment. In: B. M. Zucker-

man et al., eds. ,Plant Parasitic Nematodes. I. Morpology, Anatomy, Taxonomy and Ecology. Acad. Press, New York and London, pp.235-256.

49. Singy, S. P., Pant, V., Khan, A. M., and Saxena, S. K. 1983a. Attractiveness *Meloidogyne incognita* larvae to roots of tomato and changes in biochemical content of plants as affected by oilcakes and nematicides. Nematologia 11:115-118.

50. Spiegel, Y., Cohn, E., and Chet, I. 1989. Use of chitin for controlling *Heterodera avenae* and *Tylenchulus semipenetrans*. J. Nematol. 21:419-422.

51. Stirling G. R. 1991. Biological Control of P.ant Parasitic Nematodes. Progress, Problems and Prospects. C. A. B. Internation. 282pp.

52. Stirling G. R. 1984. Biological control of *Meloidogyne javanica* with *Bacillus penetrans*. Phytopathology 74:55-60.

53. Van Gungy, S. D., and Meagher, J. W. 1977. Citrus nematode (*Tylenchulus semipenetrans*) problems worldwide. Proc. Int. Soc. Citricult. 3:823-826.

Abstract

Cheng, Y. H., Tsay, T. T., Chung, M. F., and Ni, H. F. 2003. Occurrence and integrated pest management of plant parasitic nematodes in Taiwan. p.151-167. *in:* Proceedings of the Integrated Management of Crops Pests in Taiwan.

There are 31 genera and 41 species of plant-parasitic nematodes recognized in Taiwan, among them, root-knot nematode (*Meloidogyne incognita, M. javanica, M. arenaria, M. hapla*), root-lesion nematode (*Pratylenchus coffeae*) and citrus nematode (*Tylenchulus semipenetrans*) were the major found in continuously cropping problem due to phytonematodes. Management of plant parasitic nematodes problem in this report rely on specific basic strategies to kill and decrease the inoculum density of pathogen, including using healthy seedling / resistant stock, non-host rotation, adding organic amendments, biological control, urea treated with solarization and/or chemical control.